

# VU Research Portal

## Stabiliteit in menselijk bewegen. Deel 1: een mechanisch perspectief

van Dieen, J.H.

### ***published in***

Physios

2012

[Link to publication in VU Research Portal](#)

### ***citation for published version (APA)***

van Dieen, J. H. (2012). Stabiliteit in menselijk bewegen. Deel 1: een mechanisch perspectief. *Physios*, 4(2), 4-12.

### **General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

### **Take down policy**

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

### **E-mail address:**

[vuresearchportal.ub@vu.nl](mailto:vuresearchportal.ub@vu.nl)

# Stabiliteit in menselijk bewegen

## *Deel 1: een mechanisch perspectief*

### Jaap van Dieën

Prof.dr. J. H. van Dieën, Interfacultair Onderzoeksinstituut MOVE, Faculteit der Bewegingswetenschappen, Vrije Universiteit Amsterdam

### Samenvatting

In een serie artikelen zal het begrip 'stabiliteit' in relatie tot het bewegen van de mens worden verduidelijkt. Het doel is een eenduidig conceptueel kader te ontwikkelen dat ten grondslag kan liggen aan het praktisch handelen, zowel gericht op prestatiebevordering als op de primaire of secundaire preventie van letsels aan het bewegingsapparaat. In dit eerste deel wordt het begrip 'stabiliteit' uitgelegd aan de hand van een eenvoudig biomechanisch model van een segment van het bewegingsapparaat, zoals de romp. Een stabiel systeem heeft als kenmerk dat het verstoringen kan opvangen. Verstoringen van de oriëntatie van een segment in een gewricht zijn tegen te gaan door middel van stijfheid en demping rond het gewricht. Stijfheid en demping zijn noodzakelijk om stabiliteit te bereiken. In een stabiel systeem beschrijft de 'performance' hoe groot afwijkingen van de oriëntatie zijn en hoe snel deze worden weggeregeld na een verstoring. De 'robustness' beschrijft de grootste verstoring die het systeem nog aankan. Robustness en performance worden door stijfheid en demping bepaald.

### Leerdoelen

Na bestudering van dit artikel:

- ▶ kunt u het begrip 'stabiliteit' in relatie tot het menselijk bewegen definiëren;
- ▶ kent u de begrippen 'performance' en 'robustness', in relatie tot het menselijk bewegen;
- ▶ begrijpt u hoe stijfheid en demping bepalend zijn voor stabiliteit, performance en robustness;
- ▶ begrijpt u het belang van stijfheid en demping in een gewricht voor de controle van houding en beweging.

### Inleiding

Via allerlei kanalen hoort u steeds meer over 'core stability', ofwel de stabiliteit van de romp. Uit gesprekken met collega's, lezingen en mogelijk artikelen leidt u af dat het verbeteren van de core stability wordt gezien als een belangrijk doel bij het bevorderen van de

prestatie van atleten, bij de preventie van letsels en bij de behandeling van patiënten met bijvoorbeeld rugpijn. Stel dat u overweegt om hieraan meer aandacht te gaan besteden in uw eigen praktijk, maar dat niet over één nacht ijs wilt gaan. U besluit eerst eens in de literatuur te duiken zodat u zich een beter beeld over het onderwerp kunt vormen en raadpleegt allereerst PubMed ([www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed)). Laten we aannemen dat het eerste artikel dat uw aandacht trekt dat van Leetun e.a. is.<sup>1</sup> In kader 1 staat een samenvatting van dit artikel. Snelle lezing van de samenvatting geeft u de indruk dat core stability inderdaad wel eens heel belangrijk zou kunnen zijn en daarom besluit u verder te zoeken, waarbij u stuit op het artikel van Zazulak e.a.,<sup>2</sup> samengevat in kader 2. Ook diagonaal lezen van deze samenvatting bevestigt dat de core stability wel eens belangrijk zou kunnen zijn.

### Studievragen

Lees beide samenvattingen nogmaals aandachtig en beantwoord voor uzelf de volgende vragen voordat u verder leest.

- Wat is in beide onderzoeken de belangrijkste onderzoeksvraag?
- Wat is in beide onderzoeken het belangrijkste resultaat?
- Welk type training zou geïndiceerd zijn om de core stability te verbeteren op basis van het onderzoek van Leetun e.a.<sup>1</sup>
- Welk type training zou geïndiceerd zijn om de core stability te verbeteren op basis van het onderzoek van Zazulak e.a.<sup>2</sup>

## 1 Core stability measures as risk factors for lower extremity injury in athletes

**Achtergrond:** Verminderde stabiliteit van de lumbale of bekkenregio (*core*) wordt verondersteld de kans op letsels aan de onderste extremiteiten te vergroten, in het bijzonder bij vrouwen. Deze prospectieve studie vergeleek core stability-maten tussen mannen en vrouwen en tussen atleten die wel en geen letsel opliepen in het volgende seizoen. Ten slotte onderzochten Leetun en collega's welke maten het best voorspellen welke atleten een verhoogd risico op letsel van de onderste extremiteiten hebben. **Methode:** Voor het seizoen onderzocht de groep 80 vrouwelijke (gemiddelde leeftijd =  $19,1 \pm 1,37$  jaar, gemiddeld gewicht  $65,1 \pm 10,0$  kg) en 60 mannelijke (gemiddelde leeftijd =  $19,0 \pm 0,90$  jaar, gemiddeld gewicht  $78,8 \pm 13,3$  kg) basketballers en atleten. Bij elke deelnemer werden de kracht van de heupabductie en -exorotatie, de buikspierfunctie en de volhoudtijd van de rugextensie en van de m. quadratus lumborum bepaald. **Resultaten:** De mannen was de kracht van de heupabductie groter (mannen =  $32,6 \pm 7,3\%$  lichaamsgewicht, vrouwen =  $29,2 \pm 6,1\%$  lichaamsgewicht), evenals die van de heupexorotatie (mannen =  $21,6 \pm 4,3\%$  lichaamsgewicht, vrouwen =  $1,4 \pm 4,1\%$  lichaamsgewicht). Ook het uithoudingsvermogen van de m. quadratus lumborum was groter bij mannen ( $84,3 \pm 32,5$  s) dan bij vrouwen ( $58,9 \pm 26,0$  s). Sporters die geen letsel opliepen hadden een grotere heupabductiekracht (geen letsel =  $31,6 \pm 7,1\%$  lichaamsgewicht, letsel =  $28,6 \pm 5,5\%$  lichaamsgewicht) en exorotatiekracht (geen letsel =  $20,6 \pm 4,2\%$  lichaamsgewicht, letsel =  $17,9 \pm 4,4\%$  lichaamsgewicht). Logistische regressieanalyse liet zien dat de heupexorotatie kracht de beste voorspeller was voor letsel (OR = 0,86, 95% CI = 0,77, 0,97). **Conclusie:** Core stability speelt een rol bij de preventie van letsel. Toekomstig onderzoek zou kunnen laten zien dat verschillen in core stability de verschillen in kans op letsel tussen mannen en vrouwen kunnen verklaren.

## 2 Deficits in neuromuscular control of the trunk predict knee injury risk

**Achtergrond:** Vrouwelijke atleten hebben een grotere kans op letsels van de voorste kruisband (VKB) dan mannen die dezelfde sporten beoefenen. Verminderde core stability zou de dynamische stabiliteit van de knie kunnen bedreigen. **Hypotheses:** (1) Grotere rompverplaatsing na een plotselinge verstoring is geassocieerd met een grotere kans op knieletsel; (2) rompverplaatsing in het frontale vlak na een verstoring is een sterkere voorspeller dan rompverplaatsing in het sagittale vlak; (3) logistische regressie van core stability-maten voorspelt knie-, ligament- en VKB-letsel; (4) de predictieve waarde van de regressiemodellen is verschillend voor mannen en vrouwen. **Methode:** 277 sporters (140 vrouwen en 137 mannen) werden prospectief onderzocht. Proprioceptie van de romp en verplaatsing van de romp na een plotselinge mechanische verstoring van de romp werden gemeten. Variantieanalyse en multivariate logistische regressieanalyse werden gebruikt om voorspellers van knieletsel te bepalen. **Resultaten:** 25 atleten (11 vrouwen en 14 mannen) liepen knieletsel op in een periode van drie jaar. De rompverplaatsing was groter bij atleten met letsels dan bij atleten zonder letsels ( $p < 0,05$ ). Laterale verplaatsing (frontale vlak) was de sterkste voorspeller van ligamentletsels ( $p = 0,009$ ). Een logistisch regressiemodel met rompverplaatsing, proprioceptie en een geschiedenis van rugpijn voorspelden knieligamentletsels met een sensitiviteit van 91% en een specificiteit van 68% ( $p = 0,001$ ). Dit model voorspelde knie-, ligament- en VKB-letsel correct bij 84%, 89% en 91% van de vrouwelijke atleten, maar bij de mannelijke atleten was alleen een geschiedenis van rugpijn hiervoor voorspellend. **Conclusies:** Core stability-maten voorspelden het risico op knie-, ligament- en VKB-letsels met hoge sensitiviteit en redelijke specificiteit bij vrouwelijke, maar niet bij mannelijke sporters.

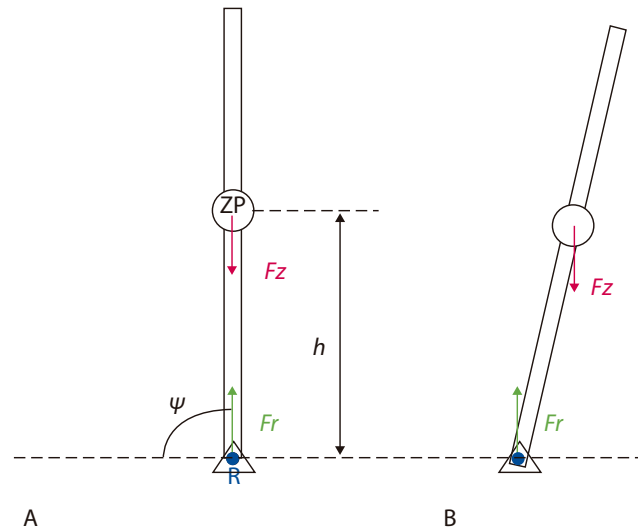
In beide onderzoeken is een vergelijkbare onderzoeksvraag gesteld, namelijk: Is een slechte core stability een risicofactor voor letsels aan de onderste extremiteiten bij sporters? Bij lezing van de samenvatting van het artikel van Leetun e.a. werd u waarschijnlijk op het idee gebracht dat het zinvol zou zijn om meer aandacht te gaan besteden aan de kracht en het uithoudingsvermogen van de spieren die de romp controleren. Het is overigens opmerkelijk dat Leetun e.a. met name kijken naar de heupspieren, maar de romp wordt indirect natuurlijk ook door de heupspieren gecontroleerd.

Wellicht waren kracht en uithoudingsvermogen al een belangrijke focus in uw aanpak en kon u dus tevreden constateren dat u al op de goede weg was. Maar toen u daarna het artikel van Zazulak e.a. las, werd u duidelijk dat training van het waarnemen van en reageren op verstoringen van de romp geïndiceerd zou zijn. Kennelijk verstaan de verschillende onderzoekers iets anders onder 'core stability'. De verwarring beperkt zich niet tot deze twee artikelen. Borghuis e.a. (2008) concludeerden in een recent overzichtsartikel dan ook dat 'core stability' een hot topic

is, maar ook een vaag begrip.<sup>3</sup> In een serie artikelen zal het begrip 'stabiliteit' worden verduidelijkt. Het doel is een eenduidig conceptueel kader te ontwikkelen dat ten grondslag kan liggen aan het praktisch handelen, zowel gericht op prestatiebevordering als op de primaire of secundaire preventie van letsels aan het bewegingsapparaat. In dit eerste deel wordt het begrip 'stabiliteit' uitgelegd met behulp van een biomechanisch model voor de controle van houding en beweging.

## Stabiliteit en instabiliteit in de kliniek

De termen 'stabiliteit' en 'instabiliteit' worden in relatie tot het menselijk bewegen en het bewegingsapparaat op zeer verschillende manieren gebruikt. Het begrip 'posturale stabiliteit' wordt bijvoorbeeld gebruikt om uit te leggen waarom biatleten, sporters die langlaufen combineren met gewerschieten, beter liggend schieten dan staand. Maar posturale instabiliteit wordt ook genoemd als een risicofactor voor vallen. Hier hebben de termen 'stabiliteit' en 'instabiliteit' kennelijk betrekking op de controle over het hele lichaam, maar zijn ze in het eerste geval situatieafhankelijk (nl. de stabiliteit verandert met de houding), terwijl ze in het tweede geval beschouwd als een eigenschap van een persoon. 'Stabiliteit' en 'instabiliteit' worden ook veelvuldig gebruikt om de toestand van een gewricht te beschrijven. Bijvoorbeeld, mensen die vaak door hun enkel gaan, worden functioneel instabiel genoemd. Daarmee wordt bedoeld dat de persoon niet in staat is de bewegingen van het enkelgewricht tijdens functionele activiteiten te controleren. Verder gebruiken bijvoorbeeld orthopedisch chirurgen het begrip '(in)stabiliteit' om de eigenschappen van het gewricht zelf te beschrijven, die het resultaat zijn van passieve testen van de beweeglijkheid. Deze twee visies op (in)stabiliteit leiden tot zeer verschillende benaderingen van hetzelfde probleem. Op basis van de eerste visie wordt bijvoorbeeld balans-training ingezet om instabiliteit van de enkel te voorkomen.<sup>4</sup> De tweede visie is te vinden in de chirurgische benadering om een gewricht te laten fuseren of stijver te maken met behulp van een ligamentreconstructie en de conservatieve benadering om het gewricht in te tapen. Het begrip 'stabiliteit' lijkt dus belangrijk in verschillende contexten, maar het lijkt ook te kunnen refereren aan verschillende onderliggende begrippen, die zich uiten in een totaal andere klinische benadering. De



**Figuur 1** Omgekeerde slinger in evenwicht (A) en uit evenwicht (B). ZP is het zwaartepunt van de slinger,  $F_z$  en  $F_r$  zijn respectievelijk de zwaartekracht en de reactiekracht, voor de andere symbolen zie tekst.

gemeenschappelijke noemer lijkt te zijn dat 'stabiliteit' staat voor het vermogen de bewegingen van een systeem te controleren, bijvoorbeeld het hele lichaam of het enkelgewricht. Maar altijd is het doel optimaal presteren en letsels voorkomen.

## Stabiliteit mechanisch gedefinieerd

De mechanica biedt een eenduidige definitie van stabiliteit, die ook voor de stabiliteit van het menselijk bewegen bruikbaar is. Met deze definitie is de hiervoor beschreven begripsverwarring te voorkomen. Bovendien zal blijken dat verschillende visies op stabiliteit in relatie tot het menselijk bewegen meestal betrekking hebben op deelaspecten, die in dit mechanische kader op zinvolle wijze met elkaar in verband kunnen worden gebracht.

### De omgekeerde slinger

Om te komen tot een meer strikte definitie van 'stabiliteit' maken we gebruik van een eenvoudig model voor de controle van de stand van een gewricht. Dit is een model van een omgekeerde slinger (zie figuur 1). De omgekeerde slinger kan een model zijn voor de controle van de oriëntatie van één segment in één gewricht, bijvoorbeeld de stand van de onderarm in de elleboog, maar ook voor de stand van meer segmenten boven één gewricht, bijvoorbeeld het hele lichaam boven het enkelgewricht. De slinger heeft een massa  $m$ , met een zwaartepunt op een hoogte  $h$  ten opzichte van een

scharniergewricht  $R$ . Omdat het bij stabiliteit in de context van het menselijk bewegen gaat om de controle van de bewegingen van lichaamssegmenten in een gewricht, zullen we eerst kijken hoe we deze bewegingen (of biomechanisch uitgedrukt: de kinematische toestand) kunnen beschrijven.

Een scharniergewricht heeft een enkele draaiingsas die loodrecht staat op het vlak van de tekening. Daarom is het mogelijk om met één hoek ( $\gamma$ ) de oriëntatie van de slinger te beschrijven. Daarmee is de beweging natuurlijk nog niet compleet vastgelegd, want daartoe moeten we ook de hoeksnelheid en de hoekversnelling\* kennen. Deze combinatie van variabelen geeft een complete beschrijving van de kinematische toestand van de slinger.

### Evenwicht en stabiliteit

Laten we eerst de kinematische toestand beschouwen waarin de slinger zich in een statisch evenwicht bevindt (hoek  $\psi$  is dan constant en hoeksnelheid en hoekversnelling zijn beide nul). Dit kan alleen het geval zijn wanneer de slinger rechtop staat. In alle andere oriëntaties oefent de zwaartekracht een moment\*\* rond  $R$  uit, waardoor de slinger versnelt (de hoekversnelling is dan ongelijk aan nul). In theorie is de slinger dus in evenwicht wanneer hij rechtop staat (figuur 1A), maar in werkelijkheid zullen er altijd kleine verstoringen aanwezig zijn, die dit evenwicht opheffen. Bijvoorbeeld een zeer zwakke luchtstroom van links naar rechts kan genoeg zijn om de slinger iets naar rechts te doen uitwijken. Als gevolg hiervan komt het zwaartepunt van de slinger iets rechts van het rotatiepunt  $R$  te liggen en dan oefent de zwaartekracht een moment uit dat met de klok mee werkt (figuur 1B). De slinger zal dus met de klok mee versnellen en omvallen. Bij een omgekeerde slinger zal elke hoekverandering door een verstoring –

hoe klein ook – leiden tot een moment van de zwaartekracht in de richting van de verstoring. Dat betekent dat het op de slinger inwerkend moment van de zwaartekracht toeneemt met de grootte van de verstoring. In werkelijkheid zal de slinger daarom niet rechtop blijven staan zonder ondersteuning, zoals we allemaal uit ervaring weten. Dit betekent dat de rechtopstaande slinger instabiel is.

In de mechanica wordt een systeem instabiel genoemd wanneer de verandering in de toestand niet bepaald wordt door de grootte van de verstoring, bijvoorbeeld doordat de verandering van de toestand doorgaat nadat de oorspronkelijke verstoring is gestopt, zoals de omgekeerde slinger die na een heel klein duwtje door de zwaartekracht ten val komt. Een systeem wordt in de mechanica stabiel genoemd wanneer het na een minimale verstoring terugkeert naar de oorspronkelijke (geplande) toestand. Deze definitie van stabiliteit is wat op te rekken door af te spreken dat een systeem ook stabiel is wanneer het na een verstoring dicht genoeg bij de geplande toestand blijft om zijn functie te kunnen uitoefenen.

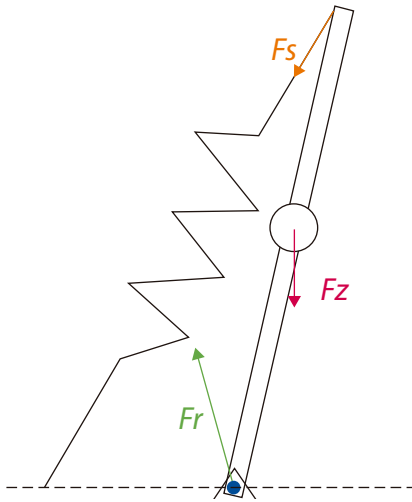
Zoals elk mechanisch systeem moet het menselijk bewegingsapparaat dus niet alleen in evenwicht zijn om zijn functie te kunnen uitoefenen, maar moet dit evenwicht ook stabiel zijn. Immers, de omgekeerde slinger was in evenwicht in rechtopstaande stand, maar kleine verstoringen die overal en altijd aanwezig zijn maken dit evenwicht instabiel, waardoor de slinger niet in de evenwichtsstand blijft staan. Als we de omgekeerde slinger als model zien voor onze arm, zal duidelijk zijn dat we om een lepel met soep voor onze mond te plaatsen, de arm niet alleen in evenwicht moeten brengen in de juiste stand, maar dat dat evenwicht ook stabiel moet zijn om knoeien te voorkomen. Die eis van stabiliteit geldt niet alleen voor de (semi-)statische toestand met de hand bij de mond, maar ook voor het bewegings-traject van het bord naar de mond. Dit bewegingstraject moet dus ‘dynamisch stabiel’ zijn.

### Stabiliseren van een omgekeerde slinger

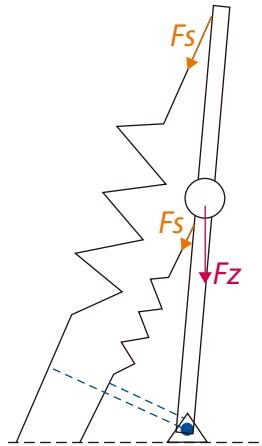
Hoe is een omgekeerde slinger te stabiliseren? Zoals eerder beschreven, is de slinger instabiel omdat het moment op de slinger toeneemt met een verandering van de hoek. Om die verandering te voorkomen moeten we dus iets toevoegen dat een moment oplevert tegen de richting van de verstoring in. In de mechanica worden daarvoor veren gebruikt. Veren leveren altijd

\* Hoeksnelheid is de snelheid waarmee de hoek verandert; de eenheid ervan is graden per seconde of radialen per seconde. Hoekversnelling is de snelheid waarmee de hoeksnelheid toe- of afneemt; de eenheid ervan is graden per seconde in het kwadraat of radialen per seconde in het kwadraat.

\*\* Het moment dat een kracht rond een gewricht veroorzaakt, is gelijk aan de grootte van de kracht maal de loodrechte afstand van de lijn waarlangs de kracht werkt tot het gewricht. De som van alle momenten rond een gewricht bepaalt de hoekversnelling die in het gewricht optreedt.



**Figuur 2** Omgekeerde slinger gestabiliseerd met een veer.  $F_z$  is de zwaartekracht,  $F_r$  is de reactiekracht,  $F_s$  is de trekkracht van de veer.  $F_s +$  veerkracht,  $F_z =$  zwaartekracht,  $F_r =$  reactiekracht.



**Figuur 3** Links een omgekeerde slinger gestabiliseerd door twee veren met dezelfde stijfheid. De gestippelde lijnen geven de momentarmen van de veren ten opzichte van het scharniergewricht weer. De veer die het dichtst bij het scharnier is geplaatst, heeft een kortere momentarm. Die neemt bij een gegeven verandering in de hoek van de slinger minder in lengte toe en levert dus ook minder kracht. Bovendien is het moment dat bij een gegeven kracht wordt geleverd kleiner door de kleinere momentarm. Vergelijking van de rechter- en de linkerfiguur laat zien dat de momentarmen van de veren kleiner worden bij een toenemende hoek van de slinger, terwijl de momentarm van de zwaartekracht groter wordt.

een kracht tegen de vervorming in. Dat wil zeggen dat de veer een grotere trekkracht uitoefent als hij verlengd wordt en dat de trekkracht afneemt of de veer een duwkracht uitoefent als hij verkort wordt. Wanneer een veer aan de slinger wordt bevestigd zoals in figuur 2, dan zal de veer van lengte veranderen met elke verandering van de hoek  $\psi$  van de slinger. De kracht in de veer ( $F_s$ ) levert een moment op rond R dat deze lengteverandering (en dus hoekverandering in R) tegenwerkt.

Als de slinger rechthoekig verstoord wordt, dan wordt de veer verlengd en neemt de trekkracht van de veer toe en daarmee ook het moment linksom als gevolg van het uittrekken van de veer. Als het moment van de veerkracht nu maar groter is dan het moment van de zwaartekracht, dan neemt het totale moment (de som van de door veer en zwaartekracht uitgeoefende momenten) niet toe met de verstoring en is de slinger stabiel. Om dat te bereiken moet de stijfheid\* van de veer groot genoeg zijn. Hoe stijver de veer, hoe groter

de verandering van de kracht in de veer bij een gegeven verandering van lengte. Maar ook de positie van de veer ten opzichte van het draaipunt is van belang. Als de veer een grote momentarm\*\* heeft, dan zal hij meer in lengte veranderen bij een gegeven hoekverandering van de slinger en ook per eenheid veerkracht in de veer een groter moment leveren. Dus een veer die wat verder van het draaipunt R af zit, is effectiever dan een veer die vlakbij het draaipunt is bevestigd (zie figuur 3).

## De kwaliteit van een stabiel systeem

Om meer inzicht te krijgen in het gedrag van een omgekeerde slinger die gestabiliseerd wordt door een veer zijn in figuur 4 de resultaten van enkele simulaties weergegeven. In elk van de simulaties wordt de oriëntatie van de slinger verstoord door een kortdurend moment met de klok mee, als een soort duwtje in de rug.

\* Stijfheid is de verandering in kracht bij een gegeven verandering in lengte; de eenheid ervan is Newton/meter (N/m). De stijfheid kan ook worden uitgedrukt als verandering in moment geleverd door de veer bij een gegeven verandering van de hoek. Behalve de stijfheid speelt hierbij de momentarm van de veer een rol.

\*\* Momentarm is de loodrechte afstand van de lijn waarlangs de kracht werkt tot het draaipunt waarvoor het moment wordt berekend (in figuur 1 en 2 is dat scharnier R).



## Studievragen

Bestudeer figuur 4 en beantwoord de volgende vragen voordat u verder leest.

- Wat gebeurt er met de slinger na een verstoring bij de laagste stijfheid (bovenste paneel) van de veer?
- Waarom gebeurt dit?
- Welke verschillen zijn er in het mechanisch gedrag van de slinger wanneer de stijfheid van de veer groter wordt gemaakt? Vergelijk hiervoor het middelste en onderste paneel met elkaar.

Wanneer de stijfheid van de veer heel klein is, is de slinger niet stabiel. Dan volgt na enige tijd een grote afwijking van de oriëntatie en keert de slinger niet terug naar de beginpositie (bovenste paneel van figuur 4). Wanneer de veer stijver wordt gemaakt, is het systeem wel stabiel en keert de slinger weer naar de oorspronkelijke stand terug.

De slinger is in beide onderste panelen van figuur 4 stabiel, maar toch zijn er relevante verschillen te constateren. Een stijvere veer (of een veer met een grotere momentarm) geeft kleinere verplaatsingen, met een hogere frequentie van de slingerbewegingen. Kleinere verplaatsingen zijn natuurlijk wenselijk, bijvoorbeeld om de oriëntatie van een ledemaat met voldoende precisie te regelen. Verder valt op dat de slinger niet tot stilstand komt in de oorspronkelijke toestand, maar daaromheen blijft bewegen. In de werkelijkheid zullen de slingeringen na enige tijd ophouden omdat er altijd energie verloren gaat aan wrijving.

Het zal duidelijk zijn dat slingerbewegingen rond de oorspronkelijke toestand zeer ongewenst kunnen zijn als het gaat om het controleren van de bewegingen. In de mechanica worden daarom, niet alleen veren maar ook dempers gebruikt. Dempers leveren een kracht afhankelijk van en tegengesteld aan de snelheid waarmee ze vervormen, ze nemen bewegingsenergie op (dissiperen) en zetten die om in warmte. Figuur 5 laat zien wat het effect is van een demper die parallel aan een veer aan een omgekeerde slinger wordt geplaatst (vergelijk ook met figuur 4). De slingerbewegingen doven dankzij de demper uit. Wanneer de eigenschappen van de demper goed gekozen worden, gebeurt dit al na een enkele slingerbeweging.

## Performance

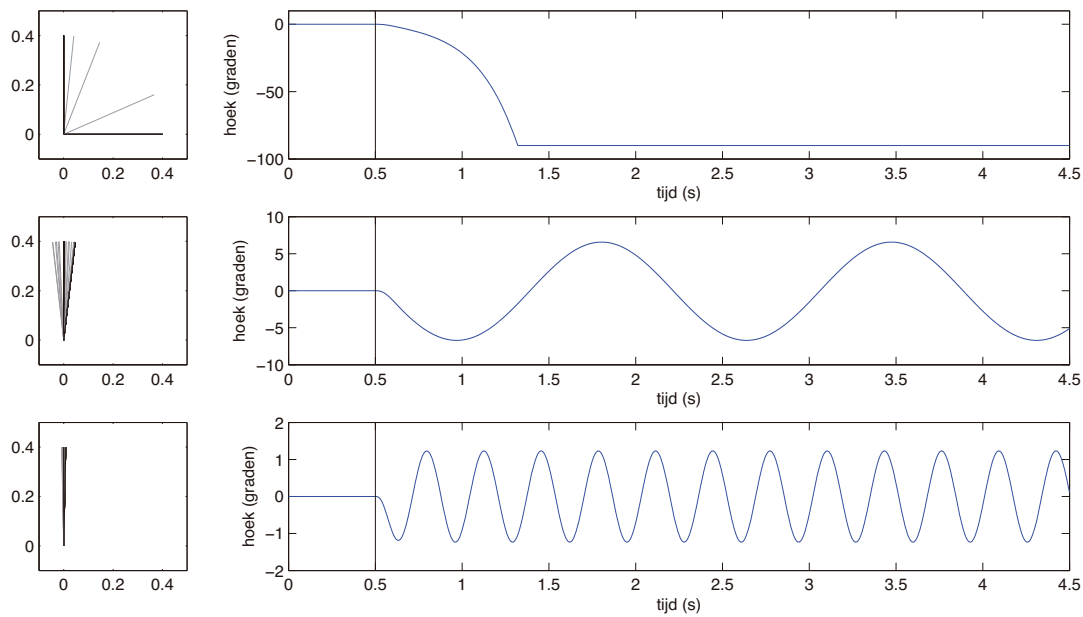
De simulatieresultaten in figuur 4 en figuur 5 maken duidelijk dat er meer is dan instabiliteit of stabiliteit

wanneer het gaat om de controle van een positie of een beweging in een gewricht. De grootte van de verplaatsing na een zekere verstoring kan bijvoorbeeld zeer bepalend zijn voor het functioneren. Wanneer we na een klein duwtje weliswaar terugkeren naar de uitgangshouding, maar dat doen na vervaarlijk slingeren, zal dat ons functioneren meer beperken dan wanneer dit na een minimale slingerbeweging gebeurt. Ook de snelheid waarmee we terugkeren naar de uitgangshouding kan van belang zijn. Deze aspecten, die de respons van het systeem op een verstoring karakteriseren, worden wel aangeduid met de term 'performance'. Dat is dus de wijze waarop het systeem presteert na een verstoring van een gegeven grootte. Uit figuur 4 en figuur 5 wordt duidelijk dat een grotere stijfheid en demping leiden tot een betere performance.

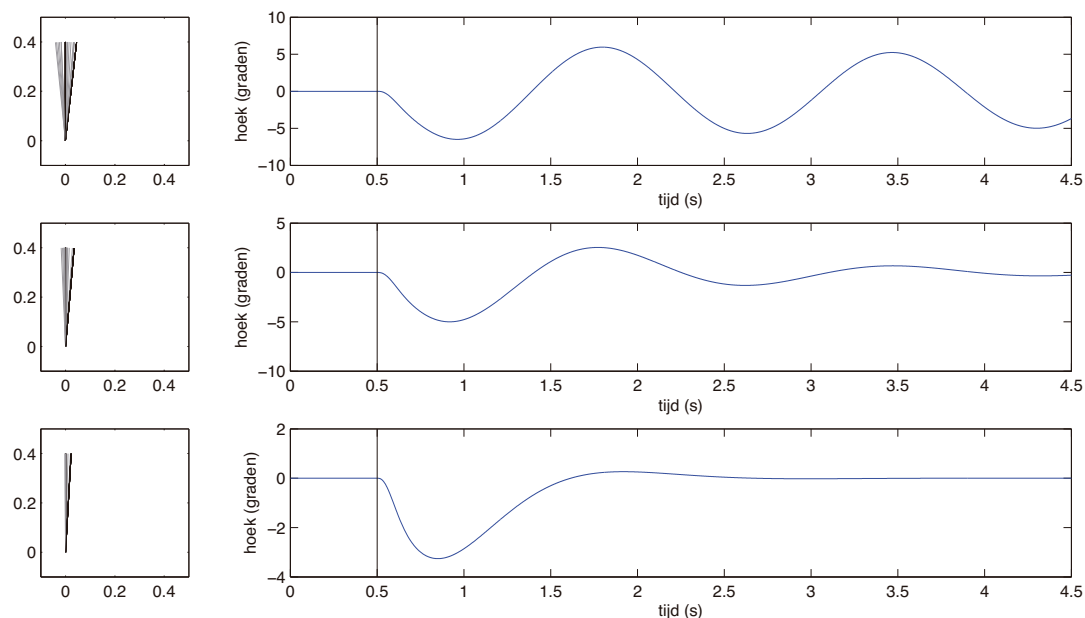
## Robustness

Behalve de performance is ook de maximale grootte van de verstoring die een systeem nog kan hebben voordat het niet kan terugkeren naar de uitgangshouding of de beoogde functie niet meer kan uitvoeren (instabiel wordt), een belangrijk aspect van de controle van houding en beweging. Dit wordt wel aangeduid met de term 'robustness'. In figuur 6 wordt het begrip 'robustness' geïllustreerd. De omgekeerde slinger die wordt gestabiliseerd door een veer en een demper krijgt in de opeenvolgende panelen een steeds grotere verstoring te verwerken. Bij kleine verstoringen (bovenste en middelste paneel) keert de slinger terug naar de oorspronkelijke toestand. De slinger is dus stabiel. Omdat de momentarm van de veren (en dempers) afneemt met de hoek van de slinger (zie figuur 3), worden de veren bij grotere verstoringen minder effectief. De toename van het moment van de zwaartekracht kan dan groter worden dan de toename van het moment dat wordt geleverd door de veren (onderste paneel). Hierdoor wordt de slinger onder zeer grote verstoringen instabiel. De 'robustness' geeft dus de grootte aan van de verstoringen die een systeem, dat stabiel is onder kleine verstoringen, nog kan hebben. Wanneer de stijfheid en demping groter zijn, dan kunnen ook grotere verstoringen nog worden weerstaan en blijft het systeem dus langer stabiel.

Helaas zijn de Nederlandse termen 'prestatie' en 'robuustheid' niet echt goede alternatieven voor het Engelse jargon. Vaak wordt de term 'stabiliteit' wat

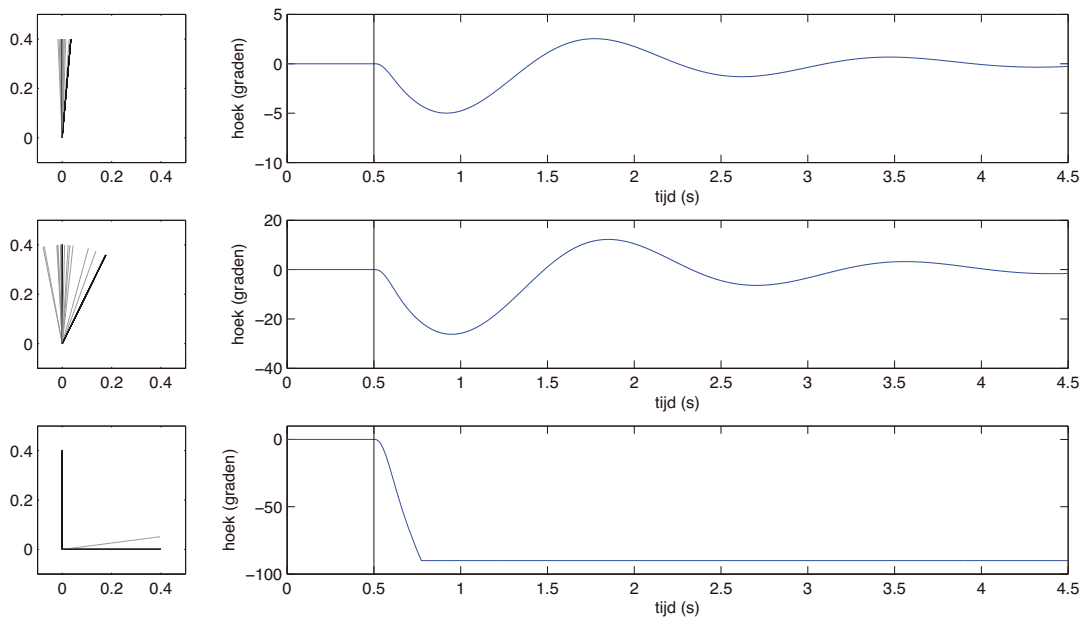


**Figuur 4** De reactie van een omgekeerde slinger ondersteund door een veer op een kortdurende, kleine verstoring die optreedt op  $t=0,5$  s (zwarte verticale lijn in rechterpanelen). De stijfheid van de veer neemt toe van boven naar beneden. De linkerpanelen illustreren de stand van de slinger in de ruimte, waarbij de zwarte lijnen de onverstoorde toestand en de maximale uitwijking weergeven, en de grijze lijnen de oriëntaties op willekeurige tijdstippen na de verstoring. De rechterpanelen geven de hoek van de slinger met de verticaal als functie van de tijd weer. Merk op dat de schalen van de y-as van de rechterpanelen verschillend zijn.



**Figuur 5** De reactie van een omgekeerde slinger ondersteund door een veer en een demper op een kortdurende kleine verstoring die optreedt op  $t=0,5$  s (zwarte verticale lijn in rechterpanelen). De damping neemt toe van boven naar beneden. De stijfheid van de veer is in alle panelen gelijk aan die in de middelste panelen van figuur 4. De linkerpanelen illustreren de stand van de slinger in de ruimte, waarbij de zwarte lijnen de onverstoorde toestand en de maximale uitwijking weergeven, en de grijze lijnen de oriëntaties op willekeurige tijdstippen na de verstoring. De rechterpanelen geven de hoek van de slinger met de verticaal als functie van de tijd weer. Merk op dat de schalen op de y-as van de rechterpanelen verschillend zijn.





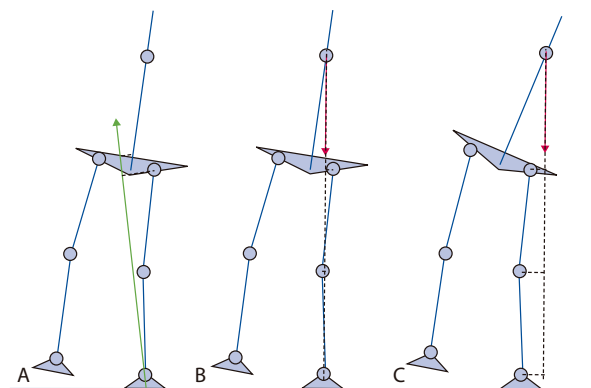
**Figuur 6** De reactie van een omgekeerde slinger ondersteund door een veer en een demper op een kortdurende kleine verstoring die optreedt op  $t=0,5$  s (zwarte verticale lijn in rechterpanelen). De grootte van de verstoring neemt toe van boven naar beneden. De stijfheid en demping zijn in alle panelen gelijk aan die in de middelste panelen van figuur 5. De linkerpanelen illustreren de stand van de slinger in de ruimte, waarbij de zwarte lijnen de onverstoorde toestand en de maximale uitwijking weergeven, en de grijze lijnen de oriëntaties op willekeurige momenten na de verstoring. De rechterpanelen geven de hoek van de slinger met de verticaal als functie van de tijd weer. Merk op dat de schalen op de y-as van de rechterpanelen verschillend zijn.

losjes gebruikt om al deze aspecten van de kwaliteit van de controle van houding en beweging aan te duiden, maar dat kan natuurlijk sneller tot begripsverwarring leiden.

## Core stability

Kunnen we op basis van het model van de omgekeerde slinger nu begrijpen waarom stabiliteit van de romp van belang is voor de preventie van letsels aan de onderste extremiteiten?

Stel u voor, een sporter landt na een sprong op één been (figuur 7A). De romp is een omgekeerde slinger waarbij het rotatiepunt kan liggen in de heup van het standbeen of in de lumbale wervelkolom. De impact van de landing werkt via het been in op de romp en levert een moment dat de romp in het frontale vlak kan doen kantelen (figuur 7B). Als de romp niet snel binnen een kleine marge boven het bekken en het bovenbeen gecontroleerd wordt, dat wil zeggen als de 'performance' onvoldoende is, zal de zwaartekracht niet alleen het evenwicht van de romp verder verstoren, maar ook het evenwicht in knie- en enkelgewricht (figuur 7C).



**Figuur 7** Een sporter landt na een sprong op één been. Bij de landing wordt de romphoek in het frontale vlak verstoord door de impact van de landing (groene pijl) die een moment op de romp uitoefent (A). De momentarmen van deze kracht ten opzichte van de heup en de lumbale wervelkolom zijn ingetekend als stippellijnen. In figuur B slaagt de sporter erin de romp te stabiliseren boven het standbeen ondanks de verstoring die de impact van de landing (groene pijl) op de romp uitoefent. In figuur C heeft de verstoring geleid tot een grotere zijwaartse uitwijking van de romp door instabiliteit of een mindere 'performance'. De zwaartekracht van het bovenlichaam oefent nu een aanzienlijk moment uit rond knie en enkel (de momentarmen zijn als horizontale stippellijnen ingetekend).

De zwakste schakel in deze keten zou vervolgens de plek kunnen zijn waar letsel optreedt. Daarom is het niet verbazingwekkend dat de kwaliteit van de controle over de romp bepalend is voor de kans op letsels aan de benen. Aan de andere kant maakt dit ook duidelijk dat het controleren van de romp in een dergelijke situatie niet alleen afhangt van de controle over de romp zelf, maar dat een gebrek aan controle in bijvoorbeeld de enkel ook de beweging van de romp zal beïnvloeden.

## Tot slot

We hebben nu gezien dat de stijfheid en demping in een systeem bepalen of een systeem stabiel is. We hebben ook gezien wat de 'performance' en 'robustness' van een stabiel systeem zijn. Veren en dempers zijn de elementen die voor respectievelijk stijfheid en demping zorgen in technische systemen. Ligamenten en spieren leveren beide zowel stijfheid als demping in het menselijk bewegingsapparaat. De mate van stijfheid en demping die spieren leveren hangt af van hun momentarm, zoals zojuist uitgelegd voor veren, maar ook van de maximale kracht van de spier. Daarnaast nemen de stijfheid en demping toe met de mate van activiteit van een spier. Ten slotte kunnen ook reflexen worden gezien als een vorm van stijfheid en demping. De bijdrage van deze biologische veren en dempers aan de kwaliteit van de controle van houding en beweging zal worden uitgewerkt in deel 2 van deze serie.

## Literatuur

- 1 Leetun DT, Lloyd Ireland M, Wilson JD, Ballantyne BT, McClay Davis I. Core stability measures as risk factors for lower extremity injury in athletes. *Med Sci Sports Exerc* 2004;36:926-34.
- 2 Zazulak BT, Hewett TE, Reeves NP, Goldberg B, Cholewicki J. Deficits in neuromuscular control of the trunk predict knee injury risk. A prospective biomechanical-epidemiologic study. *Am J Sports Med* 2007;35(7):1123-30.
- 3 Borghuis J, Hof AL, Lemmink KAPM. The importance of sensory-motor control in providing core stability: Implications for measurement and training. *Sports Med* 2008;38(11):993-916.
- 4 Hupperets MD, Verhagen EA, Mechelen W van. Effect of unsupervised home based proprioceptive training on recurrences of ankle sprain: randomised controlled trial. *BMJ* 2009;339:b2684.

## Kernpunten

- Een systeem is instabiel als de verandering in de toestand niet bepaald wordt door de grootte van de verstoring.
- Een systeem is stabiel als het na een verstoring terugkeert naar de oorspronkelijke (geplande) toestand of hier dicht genoeg bij blijft om zijn functie te kunnen uitoefenen.
- 'Performance' duidt op de kwaliteit (snelheid, precisie) van de stabiliteit van een systeem.
- 'Robustness' geeft aan in welke mate een systeem verstoringen kan opvangen.
- Een hogere stijfheid en demping leiden tot een betere performance en robustness.
- Spieren en ligamenten leveren zowel stijfheid als demping.

## Relevante artikelen in het Physiosdossier

- ▶ Borghuis J. Het belang van rompstabiliteit. *Physios* 2011-2: 4-11.
- ▶ Engelen SJPM van, e.a. De wervelkolom biomechanisch bekeken: hoe belasting kan leiden tot gebreken. *Physios* 2011-4: 14-23.